

태양 에너지 기반 센서 네트워크에서 데이터 저장량을 최대화하기 위한 효율적인 데이터 분배 기법

(An Efficient Data Distribution Scheme for Maximizing the Amount of Data Stored in Solar-powered Sensor Networks)

노 동 건^{*}

(Dong Kun Noh)

요약 대부분의 태양 에너지 기반 센서 네트워크 응용에서 센서 노드들은 외부 네트워크와의 지속적인 연결이나 관리자에 의한 유지 보수가 불가능한 장소에 배치된다. 따라서 최대한 많은 양의 센싱 데이터들이 관리자에 의해 업로드 될 때까지 네트워크 내에 저장되어 있어야 한다. 이를 위하여 네트워크의 관점에서는 각 노드들 사이의 균형적인 데이터 분배가 이루어져야 하는데, 이를 효과적으로 수행하려면 각 노드의 사용가능한 에너지와 저장 공간에 대한 정보를 최대한 활용하여야 한다. 본 논문에서는 태양 에너지 기반의 노드들로 구성된 센서 네트워크에서 각 노드가 수집하는 태양 에너지를 효율적으로 이용함과 동시에 각 노드들의 저장 공간을 최대로 활용할 수 있는 간단하지만 매우 효과적인 데이터 분배 알고리즘을 소개한다. 본 알고리즘은 각 노드의 수집 에너지 중에서 데이터 분배에 사용될 수 있는 에너지의 양을 결정하고, 자신과 이웃 노드의 저장 공간 정보에 따라 각 이웃 노드들로 보낼 최적의 데이터 전송 양을 결정한다.

키워드 : 태양 에너지, 센서 네트워크, 데이터 분배, 데이터 저장

Abstract Most applications for solar-powered wireless sensor networks are usually deployed in remote areas without a continuous connection to the external networks and a regular maintenance by an administrator. In this case, sensory data has to be stored in the network as much as possible until it is uploaded by the data mule. For this purpose, a balanced data distribution over the network should be performed, and this can be achieved efficiently by taking the amount of available energy and storage into account, in the system layer of each node. In this paper, we introduce a simple but very efficient data distribution algorithm, by which each solar-powered node utilizes the harvested energy and the storage space maximally. This scheme running on each node determines the amount of energy which can be used for a data distribution as well as the amount of data which should be transferred to each neighbor, by using the local information of energy and storage status.

Key words : solar power, sensor network, data distribution, data storage

1. 서론

태양 에너지는 높은 파워 밀도(density)와 주기적인 충전 사이클 등으로 인해 센서 시스템을 위한 가장 적합한 에너지원 중 하나로 주목받고 있다. 따라서 많은 태양 에너지 기반의 센서 시스템들이 설계 되었고, 또한 이를 이용한 다양한 목적의 연구들이 수행되었다[1-3].

생태계 관찰 및 환경 모니터링 등의 많은 응용에서는 센서들이 외부 세상과의 지속적인 연결 및 관리가 불가능한 외진 장소에 배치되어 질 가능성이 높다. 따라서 센싱 데이터들은 다음 업로드 시간까지 오랜 기간 동안

^{*} 정 회 원 : 일리노이대학교 컴퓨터과학과
dnoh@illinois.edu
논문접수 : 2009년 8월 28일
심사완료 : 2009년 11월 2일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 컷 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 시스템 및 이론 제37권 제1호(2010.2)

각 센서 노드의 비휘발성 저장 장치에 최대한 많은 양이 저장되어 있어야 한다. 이러한 종류의 센서 네트워크를 저장형 센서 네트워크라고 한다. 제한된 에너지를 가진 배터리 기반 센서 네트워크가 이러한 저장형 센서 네트워크의 요구 사항들을 충족시키기는 매우 어렵다.

본 논문에서는 태양 에너지 기반 저장형 센서 네트워크에서 저장되는 데이터의 양을 최대화하기 위한 데이터 분배 기법을 소개한다. 이 기법은 각 노드에서 독립적으로 수행되며, 두 가지 측면을 고려하여 언제 얼마만큼의 데이터를 이웃노드로 분산할지를 결정한다.

그 중 하나는 사용가능한 에너지의 측면인데, 이는 선행 연구[4-6]에서 이미 접근한 바 있다. 데이터의 분배와 사용 가능 에너지는 서로 이윤배반(trade-off) 관계이다. 즉, 균형적인 데이터 분배를 위한 이웃 노드로의 데이터의 전송은 노드 자신의 사용 가능 에너지의 양을 감소케 한다. 이는 센서 노드의 기본 기능인 데이터 수집에 영향을 줄 수 있고, 결국 전체 저장 데이터 양을 줄일 가능성이 있다. 따라서 데이터 분배를 위하여 어느 정도의 에너지를 사용할 것인지의 문제가 해결되어야 한다. 더욱이 태양 에너지는 계절, 날씨, 시간에 따라 그 수집 에너지의 양이 동적으로 변하므로 데이터 분배를 위한 에너지 양 결정을 더욱 어렵게 한다. 이와 관련하여서는 2장에서 간단히 살펴본다.

본 논문에서는 위의 에너지 관련 선행 연구와 연동하여 또 다른 중요한 측면인 각 노드의 데이터 저장 정보(예, 저장 매체 양, 현재 데이터 저장량, 사용 가능한 저장 공간 등)에 대한 고려를 시도한다. 센서 네트워크의 가장 이상적인 접근은 노드의 자율성과 네트워크의 확장성을 최대한 보장하기 위해 자신과 이웃노드의 정보만을 이용하여 필요한 판단을 하는 것이다. 전체 네트워크에 저장될 데이터의 양이 최대가 되도록 각 이웃노드로 분배해야하는 데이터의 양을 결정할 경우에도 제한된 정보만으로 전체 노드들의 저장 공간을 최대한 활용함과 동시에 불필요한 데이터 주고받음 현상¹⁾(data ping-pong)을 최소화 하는 방향으로 전송량이 결정되어야 한다. 3장에서 이와 관련한 자세한 내용을 기술한다.

2. 데이터 분배를 위한 에너지 양 결정

앞서 설명한 것처럼, 전체 네트워크의 저장 데이터 양을 최대화하기 위하여 각 노드의 데이터들을 네트워크에 분배하는 것은 많은 에너지의 소비를 야기한다. $E_{residual}$ 을 특정 노드의 배터리에 남아있는 현재 에너지의 양이라고 하고, ΔE ($0 \leq \Delta E \leq E_{residual}$)를 그 노드에

서 데이터 분배에 사용할 에너지 양이라고 하자. 그리고 그 노드가 ΔE 를 사용하여 주변 노드로 데이터를 분배하였을 때 증가되는 저장 공간의 양을 $Gain(\Delta E)$ 라고 한다. 한편, 노드가 ΔE 를 데이터의 분배를 위해 사용하면 그 만큼의 에너지 손실로 인해 센싱 작업을 수행하지 못할 수 있고, 이는 또 다른 종류의 저장 데이터 양 손실이라 할 수 있다. 이러한 종류의 저장 데이터 양 감소분을 그 노드의 $Loss(\Delta E)$ 라 정의한다. 따라서 각 노드의 에너지 관점에서 노드의 목표는 $Gain(\Delta E) - Loss(\Delta E)$ 값을 최대화하는 것이다.

$Loss(E)$ 를 좀 더 자세히 알아보기 위해 $B(E_{residual})$ 을 정의하였다. 이는 현재 남아있는 에너지의 양이 $E_{residual}$ 일 때 지금 시간부터 배터리가 완전히 충전되는 시간 사이에 기대되는 정전시간(배터리의 에너지가 고갈되어 데이터의 센싱 작업이 중단된 기간)을 의미한다. 이 기간 동안에는 센싱되는 데이터가 없기 때문에 R 을 데이터 센싱 속도(rate)이라고 할 때, 손실되는 데이터의 양은 $R \cdot B(E_{residual})$ 가 된다. 따라서 만약 현재 에너지의 양 $E_{residual}$ 로부터 데이터 분배를 위해 ΔE 를 사용하면 다음과 같은 데이터 손실이 발생한다.

$$Loss(E) = R \cdot [B(E_{residual} - \Delta E) - B(E_{residual})]$$

한편 P_{solar} 를 솔라 패널의 평균 충전 속도(rate)라고 하고 P_{sys} 를 시스템의 평균 전력 소모 속도라 하면 시스템이 $P_{solar} > P_{sys}$ 를 만족시킨다는 가정 하에, 주어진 현재 에너지의 양 $E_{residual}$ 과 배터리 용량 C 에서, 현재로부터 배터리가 완전 충전되어질 때까지의 기대 시간은

$$T_{full}(E_{residual}) = (C - E_{residual}) / (P_{solar} - P_{sys})$$

이다. 그리고 충전되는 태양 에너지의 양이 시간에 따라 계절에 따라 다르지만, 현재 적어도 $P_{sys} \cdot T_{full}(E_{residual})$ 이상의 에너지가 배터리에 존재한다면 현재부터 다음 배터리가 완전 충전될 때까지 정전 시간은 0일 것이다. 즉, $E_{residual} \geq P_{sys} \cdot T_{full}(E_{residual})$ 일 경우 정전 시간은 0이 되는데 이 식을 풀면 $E \geq (P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$ 가 된다. 이것이 의미하는 바는 만약 $E \geq (P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$ 일 경우 항상 $B(E_{residual})=0$ 이라는 것이고, 이것은 시스템이 잔존 에너지를 전체 배터리 용량 C 의 P_{sys}/P_{solar} 비율 이상으로 유지하게 되면, 정전 시간은 0이라는 것을 뜻한다.

따라서 만약 각 노드에서 데이터의 분배를 위해 할당된 에너지 양을 ΔE 라 하고 그 값이 $E - \Delta E \geq (P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$ 를 만족한다면 ΔE 로 인한 $Loss(E)$ 의 값은 0일 것이다. 그러므로 $Gain(\Delta E)$ 를 최대화함과 동시에 추가적인 데이터 손실을 없게 하는 ($Loss(E)=0$) ΔE 의 값은 아래와 같다.

$$\Delta E = E_{residual} - (P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$$

이는 현재 에너지의 양($E_{residual}$)이 $(P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$

1) 데이터 주고받음 현상은 데이터를 받은 노드가 데이터를 보낸 노드에게로 다시 받은 데이터(전부 또는 일부)를 전달하는 것으로써 결과적으로 아무 의미가 없는 동작이다.

이하 일 경우 노드는 데이터 분배를 수행하지 않고, 반대일 경우 여분의 에너지들(ΔE)을 모두 데이터의 분배를 위해 사용한다면 에너지의 측면에서는 가장 효율적인 결과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 앞으로 이 값 $(P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$ 을 데이터 분배를 위한 에너지 문턱값(threshold)이라고 부를 것이다.

3. 최적의 데이터 분배량 결정

본 장에서는 에너지에 대한 고려를 차치하고 전체 네트워크의 저장량을 최대화하기 위하여 각 노드에서 분배해야하는 데이터량 결정 기법을 살펴본다. Georgiadis와 Tassiulas는 그들의 연구[7]에서 네트워크 내의 저장 용량을 최대화하려면 균형 있는 데이터 저장이 필요하고, 이를 최대한 만족 시키려면 각 노드에서 아래와 같은 간단한 데이터 전송 식을 만족시켜야 한다는 것을 수식으로 증명하였다.

$$\text{If } Q(i) > Q(j), \text{ then } R(i, j) = L(i, j),$$

$$\text{If } Q(i) < Q(j), \text{ then } R(i, j) = 0.$$

여기서 $Q(node)$ 는 노드에 저장된 데이터의 양을, $R(node1, node2)$ 는 노드들 사이의 데이터 전송 속도를, $L(node1, node2)$ 는 두 노드 사이 링크의 최대 전송 속도를 나타낸다. 위의 이론적인 기법은 연속된 시간 축에서 데이터 저장량에 따른 각 링크의 데이터 전송속도를 조절하는 것으로써 이 수식에 따른 데이터의 흐름을 ABP 흐름(Adaptive back-pressure superflow)이라 부른다. 이 기법은 연속 시간 축을 가정하고 있으므로 각 노드가 자신에게 저장된 데이터의 양에 대한 정보(Q)를 끊임없이 계속해서 주변 노드에게 전달하는 것을 전제로 하고 있다(실제 시스템에서 이것은 불가능하다). 그렇지 않고 정보가 이산 시간 분포로 전달되면 노드들 사이의 불필요한 데이터 주고받음 현상이 발생하게 되고 이는 리소스 낭비의 큰 원인이 된다.

기본적으로 센서 네트워크에서는 에너지의 제약으로 인하여 데이터의 빈번한 교환을 지양하고 있으므로, 이 기법을 따르면 매우 많은 데이터 주고받음이 발생하게 된다. 따라서 사전에 이러한 데이터의 주고받음 현상을 가급적 줄일 수 있는 기법이 필요하다. 아울러 위의 기법은 각 노드들 사이의 저장 용량(storage space)이 동일함을 가정하였다. 같은 데이터 저장양이라 할지라도 스토리지의 용량에 따라 시스템에 미치는 영향이 다르기 때문에 이를 함께 고려하여야 한다. 이를 위해 본 기법에서는 아래와 같은 기법을 사용하였다.

노드 x 에서 각 이웃노드 y 로 전송할 데이터의 양, $D(x, y)$ 을 결정할 때 본 기법에서는 사용 가능한 저장 공간의 양을 기준으로 한다. 앞서 설명한 것처럼 노드마다 스토리지의 최대 공간이 다를 수 있으므로 저장 데

이터 양의 균형화 보다는 저장 공간의 균형화를 추구했기 때문이다. $A(node)$ 를 노드의 현재 사용 가능한 저장 공간이라 하자. $C(node)$ 를 저장 공간의 최대 크기라고 할 때 $A(node) = C(node) - Q(node)$ 가 된다. 제안된 기법에서는 기본적으로 $A(x) > A(y)$ 이면 $D(x, y) = 0$ 으로 하고, $A(x) < A(y)$ 일 경우 $D(x, y)$ 를 다음과 같이 결정한다. 우선 노드 x 에서 각 이웃노드 y 로 전송할 데이터의 양은 사용 가능한 저장 공간의 차이에 따라 아래와 같이 할당될 수 있다.

$$D(x, y) \propto A(y) - A(x) \quad (1)$$

또한 불필요한 데이터의 주고받음을 최소화 하기 위하여 아래와 같은 휴리스틱을 사용하였다.

$$A(y) - D(x, y) \geq \bar{A}(N_b(y)), \forall y \in N_b(x) \quad (2)$$

$$A(x) + \sum_{y \in N_b(x)} D(x, y) \leq \bar{A}(N_b(x)).$$

여기서 $N_b(node)$ 는 노드의 이웃 노드들의 집합이고 $\bar{A}(Node Set)$ 은 노드 집합의 평균 사용 가능 저장 공간이다. 식 (2)는 이들 평균값을 이용하여 데이터 주고받음을 최대한 줄일 수 있는 조건들을 나타내고 있다. 제안된 기법은 위의 식 (1)과 (2)를 사용하여 각 이웃 노드로 전송할 데이터의 양을 매우 적은 계산 오버헤드로 계산한다. 그림 1은 노드 x 가 세 개의 이웃노드를 가질 때 식 (1), (2)를 사용하여 결정된 각 이웃 노드로의 데이터 분배량을 나타낸다.

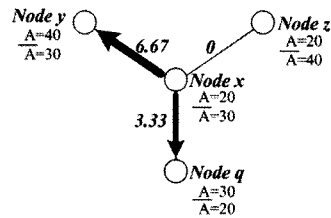


그림 1 최적 데이터 분배량 결정 예

4. 데이터 분배 시작/멈춤 조건

앞서 2장에서 충전 배터리에 존재하는 에너지의 양이 $(P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$ 이상일 경우 그 이상의 에너지들을 데이터 분배에 사용한다고 하였다. 그러나 정확히 이 문턱값을 기준으로 데이터 분배의 시작/종료를 결정한다면 매우 잦은 시작/종료가 반복될 수 있다. 예를 들어 배터리의 잔존량이 문턱값을 가까스로 넘겼을 경우, 가까스로 넘긴 적은 양의 에너지를 분배에 사용하기 시작하면 짧은 시간 내에 잔존 에너지 양이 다시 문턱 값 이하로 내려갈 것이다. 이러한 잦은 시작과 멈춤의 반복은 시스템의 안정성과 성능의 저하로 이어질 가능성이 높다. 따라서 본 기법에서는 에너지의 관점에서 일정 수준의 충

격 완화 레벨을 두어 $E_{residual} > (P_{sys}/P_{solar}) \cdot C + \alpha$ 인 경우에 데이터의 분배를 시작하고, $E_{residual} < (P_{sys}/P_{solar}) \cdot C - \alpha$ 인 경우 데이터 분배를 중단하도록 하였다.

비슷한 관점으로 3장에서 살펴본 데이터 저장 공간의 측면에서도 $A(x) < A(y)$ 일 경우에 노드 x 에서 노드 y 로의 데이터 전송량을 결정하고 데이터 전송을 시작하였는데, 이 경우에도 $A(x)$, $A(y)$ 의 차이가 크지 않음에도 불구하고 데이터 전송량을 결정하고 데이터를 분배한다면 노드 및 네트워크의 리소스만 낭비할 뿐 전체 네트워크의 성능에 크게 영향을 끼치지 못하게 된다. 이러한 경우를 배제하기 위하여 $(\bar{A}(N_b(x))/A(x)) > \beta$ 인 경우에만 데이터를 분배하도록 하였다. 요컨대 노드 x 로부터의 데이터의 분배는 아래와 같은 수식을 만족할 경우 시작된다.

• 시작 조건 :

$$\{E_{residual} - (P_{sys}/P_{solar})C > \alpha\} \wedge \{ \frac{\bar{A}(N_b(x))}{A(x)} > \beta \}$$

• 멈춤 조건 :

$$\{(P_{sys}/P_{solar})C - E_{residual} \leq \alpha\} \vee \{ \frac{\bar{A}(x)}{A(N_b(x))} \leq 1/\beta \}$$

α 와 β 의 값은 센서 노드의 배터리 및 스토리지 크기와 용량이 요구하는 데이터의 센싱 속도, 그 지역의 에너지 수집 속도 등에 따라 조정 작업(calibration)이 필요하다. 이 값들이 너무 작을 경우에는 잦은 시작/종료로 인하여 불필요한 리소스의 낭비가 클 수 있고, 반대로 너무 클 경우에는 늦은(delayed) 시작/종료로 인하여 최적 데이터 분배를 못할 수 있다.

5. 성능 평가

본 장에서는 기존 연구[4-6]에서 사용된 테스트베드를 사용하여 제안된 기법의 성능 평가를 수행하였다. 응용 프로그램으로서 새의 상태 관찰을 위한 음향 수집을 구현하였고, 2주 동안 20개의 노드를 이용하여 실험을 수행하였다. 각 노드는 노이즈 필터를 사용하여 새의 음향이 감지될 때에만 레코딩 작업을 수행하였고, 따라서 노드의 위치에 따라 센싱되는 데이터의 양이 다르게 된다. 각 노드는 6GB의 비휘발성 저장 장치가 있어 전체 네트워크의 가상 저장 공간은 120GB가 된다. 일련의 실험 결과 이 저장 공간은 이상적으로 데이터가 분배되어 네트워크의 전체 저장 공간을 이용할 때 평균적으로 약 8.4일 정도의 데이터를 저장할 수 있었다. 따라서 데이터 수집 노드는 일주일 단위로 각 노드에 연결된다. 아울러 분배 시작/종료에 사용되는 α 값은 전체 배터리 용량 C 의 1/10, 즉 $0.1C$ 로 하였고 β 값을 1.2로 설정하였다.

제안된 기법의 성능을 다음의 세 기법과 비교하였다: ①데이터의 분배를 하지 않고 자신의 로컬 장치에 저장하는 Local Store 기법, ② 본 논문의 에너지 문턱 값에 따라 데이터 분배를 시작하지만 불필요한 데이터 주고받음에 대한 고려 없이 데이터 양을 결정하는 ABP superflow 기법, ③ 본 논문의 데이터 분배 기법에 따라 데이터 분배량을 결정하지만 에너지 상태에 대한 고려 없이 데이터 분배를 수행하는 Non Energy-Aware 기법.

그림 2는 배터리의 에너지 잔존량 $E_{residual}$ 과 문턱 값 $(P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$ 의 변화량을 특정 노드(노드1)에서 관측한 값을 보여준다. 아울러 솔라 패널로부터의 충전 전류도 그림에 함께 보여주고 있다. 관찰 노드의 초기 에너지 잔존량 $E_{residual}$ 은 19.6AH이다. 처음 9일 동안은 $E_{residual}$ 가 문턱 값 $(P_{sys}/P_{solar}) \cdot C$ 보다 작기 때문에 데이터의 분배를 수행하지 않는다. 이에 따라 시스템의 에너지 충전 속도가 에너지 소비 속도보다 커지게 되어 잔존 에너지 양은 증가하게 된다. 9일 이후부터 $E_{residual}$ 값이 문턱 값을 넘게 되고 이때부터 에너지의 분배가 시작된다. 이후 $E_{residual}$ 이 문턱값 주변에서 커졌다 작아졌다를 반복하면서 시스템은 데이터의 분배의 시작/중지를 반복한다.

각 기법의 데이터 분배 효율을 분석하기 위해 시간에 따라 저장 공간이 고갈되는 노드의 수를 추적하여 그림 3에 나타내었다. Local Store 기법의 경우, 데이터의 분배를 하지 않기 때문에 데이터 센싱 횟수가 많은 노드부터 저장 공간이 고갈되기 시작한다. 약 3일(4000분)부터 고갈이 시작되어 일주일이면 약 15개의 고갈 노드가 생긴다. 나머지 5개의 노드들은 새의 활동이 적은 영역에 배치된 노드들로 생각된다. ABP Superflow의 경우 Local Store 보다는 고갈 노드 수가 적지만 제안된 기법에 비해서는 비교적 많은 수의 고갈 노드 수를 보였다. 이는 2장에서 살펴 본 에너지 문턱값 이상의 에너지들이 많은 부분 불필요한 데이터의 주고받음에 사

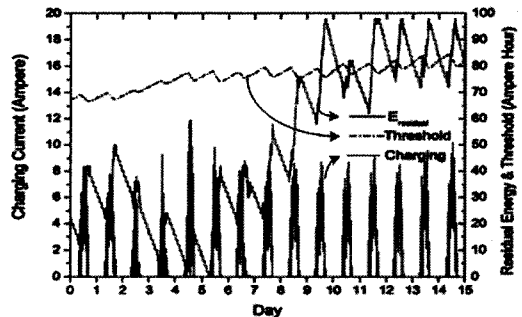


그림 2 노드의 에너지 수집량, 잔존량, 문턱값의 변화

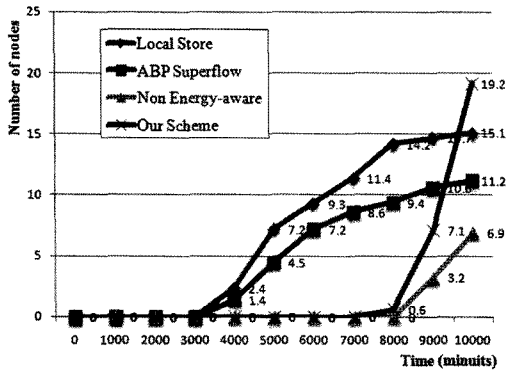


그림 3 시간에 따른 저장 공간 고갈 노드 수의 변화

용되어 데이터 분배의 효과가 크지 않기 때문일 것으로 생각된다. 이에 비해 Non Energy-aware 기법의 경우는 제안된 기법보다 훨씬 적은 수의 데이터 고갈 노드 수를 보였다. 그러나 이 기법의 경우 노드의 동작 비율(duty cycle)이 35.8로써 65.2를 기록한 제안된 기법보다 크게 낮은 성능을 보였다. 이는 사용 가능 에너지 중 상당 부분이 데이터의 분배에 사용되기 때문에 에너지의 낭비가 심하고, 따라서 노드가 수면상태로 머무는 경우가 많기 때문이다. 이 경우 결과적으로 노드의 데이터 센싱량 자체가 적어지기 때문에 저장 공간 고갈 노드 수는 줄어들게 된다. 즉, 이는 전체 데이터 수집량의 저하를 야기하므로 바람직하지 못하다. 제안된 기법의 경우 적당한 데이터 분배 양과 이에 필요한 적당한 에너지 양의 결정으로 노드의 동작 비율을 낮추지 않으면서 손실되는 데이터의 양을 최소화 하고 있다.

6. 결론

태양 에너지는 배터리의 제한된 에너지를 보완할 수 있는 매력적인 에너지원이다. 기존의 배터리 기반 센서 네트워크에서는 에너지의 소모량을 줄이는 것에 많은 노력을 기울인 반면, 태양 에너지 기반 센서 네트워크에서는 주기적으로 충전되는 태양 에너지를 특정 목적을 위해 효율적으로 사용하는 것이 중요하다. 본 논문은 이러한 목적을 데이터 분배를 통한 저장 데이터 양 최대화에 초점을 두었다. 각 노드에서 독자적으로 수행되는 제안된 데이터 분배 기법은 데이터 분배를 위해 사용 가능한 가장 적절한 에너지의 양을 결정하고, 아울러 불필요한 데이터의 주고받음을 최소화하면서 손실되는 데이터의 양을 최소화하는 효율적인 데이터 분배량을 결정한다. 이는 특별한 관리 없이 오랜 기간 방치되어 동작하는 저장형 센서 네트워크에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] D. Noh, D. Lee, and H. Shin, "Qos-aware geographic routing for solar-powered wireless sensor networks," *IEICE Trans. Comm.*, E90-B (12): 3373-3382, 2007.
- [2] A. Kansal, J. Hsu, M. Srivastava, and V. Raghunathan, "Harvesting aware power management for sensor networks," In *DAC '06*, San Francisco, USA, 2006.
- [3] T. Voigt, H. Ritter, and J. Schiller, "Utilizing solar power in wireless sensor networks," In *LCN '03*, Bonn, Germany, 2003.
- [4] D. Noh, "An Adaptive Storage System for Enhancing Data Reliability in Solar-powered Sensor Networks," *Journal of KIISE: Computer System and Theory*, vol.36, no.5, Nov. 2009.
- [5] Y. Yang, L. Wang, D. K. Noh, H. K. Le, and T. Abdelzaher, "SolarStore: Enhancing data reliability in solar-powered storage-centric sensor networks," In *MobiSys'09*, Kracow, Poland, 2009.
- [6] L. Wang, Y. Yong, D. Noh, H. K. Le and T. Abdelzaher, "AdaptSens: An Adaptive Data Collection and Storage Service for Solar-Powered Sensor Networks," In *RTSS'09*, Washington, USA, 2009.
- [7] L. Georgiadis and L. Tassiulas, "Optimal overload response in sensor networks," *IEEE Transactions on Info. Theory*, vol.52, no.6, pp.2684-2696, June 2006.



노 동 건

2000년, 2002년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사 및 석사. 2007년 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 박사. 2007년 9월~현재 UIUC 컴퓨터공학과 박사후연구원. 관심 분야는 Ad-hoc Network, Sensor Network, Mobile Computing